

複素密度と複素体積弾性率を用いたFEMによる 細い音響管の空気粘性の影響の検証

○ 渡邊光春 (フォスター電機株) 山口誉夫 (群馬大学) 笹島学 (フォスター電機株) 黒沢良夫 (帝京大学) 小池美夫 (フォスター電機株)

Examination of the Effect of Air Viscosity on Narrow Acoustic Tubes Using FEM Involving
Complex Effective Density and Complex Bulk Modulus

Mitsuharu Watanabe (FOSTER ELECTRIC.CO.LTD) Takao Yamaguchi (Gunma University) Mababu Sasajima (FOSTER ELECTRIC.CO.LTD)
Yoshio Kurosawa (Teikyo University) Yoshio Koike (FOSTER ELECTRIC.CO.LTD)

小型の電気音響変換器であるヘッドホンやイヤホンは、非常に小さな孔や狭いスリットが多く、このような音響経路においては空気粘性の影響が音響特性に大きく影響を与える。そのためFEMなどでシミュレーション解析を行う場合にも、小孔やスリットの空気粘性を考慮に入れなければならないが、可聴帯域上限までの正確なシミュレーションを行っている文献等は見受けられない。本稿ではまず、簡単な直管の音響管モデルについて空気粘性を考慮に入れたFEMで解析を行い、音響管の理論式に空気粘性の影響を導入し、理論式との比較検証を行った。

Keywords— イヤホン、音響管、伝達関数法、FEM、吸音材、多孔質材、空気粘性

1. はじめに

ヘッドホンやイヤホン、携帯電話のスピーカのような小型音響変換機には音響特性調整用の非常に小さな孔や狭いスリットが多く、このような音響経路においては空気粘性の影響が特性に大きく影響を与える。また現在、音響分野でもコンピュータの高速化、大容量化に伴いCAE技術は幅広く活用されているが、解析対称は建築など大きなものが多く、イヤホンやヘッドホンといった小型の空間の音響伝搬特性を可聴帯域の上限(20kHz)まで解析をしている例は少ない。

シミュレーションをする際には、小孔やスリットの空気粘性を考慮に入れなければならないが、それらを考慮に入れたFEMシミュレーションに関する文献も見受けられない。

本稿では簡単な直管の音響管モデルを用いて、管内の音圧分布を複素密度と複素体積弾性率を用いて、空気粘性を考慮に入れたFEMで解析し、音響管内の空気粘性の影響について、理論式と比較し検証を行ったので報告する。

2. 複素密度と複素体積弾性率を考慮した三次元閉音場の離散化

細管の音場を三次元の有限要素で離散化する。微小振幅で調和励振を受ける非粘性圧縮製完全流体の運動方程式は次式となる。

$$-\text{grad } p = -\rho \omega^2 \{U\} \quad (1)$$

また、連続の式は次式となる。

$$p = -E \text{div} \{U\} \quad (2)$$

ここで、 p は圧力、 $\{U\}$ は粒子変位ベクトル、 ω は各周波数、 ρ は実効密度、 E は体積弾性率である。

要素内の音圧 p と節点の音圧 $\{P_e\}$ との関係を、適当な内挿関数 N_p ($p=1,2,3,\dots$)を用い、次のように近似する。

$$p = [N]^T \{P_e\} \quad (3)$$

ここで $[N]^T = [N_1, N_2, N_3, \dots]$ 、 T は転置を表す。